

Список литературы

1. Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Денисов Д.Б., Толстобров Д.С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Известия Русского Географического Общества. 2016. № 4. С. 38–52.
2. Bava S., Sambuelli L. Case study: A GPR survey on a morainic lake in northern Italy for bathymetry, water volume and sediment characterization // Journal of Applied Geophysics. 2012. V. 81. P. 48–56.
3. Gomez C., Miller J. Ground Penetrating Radar Analysis of Slope and Lake Sediments Interplay: A Survey of Lake Pearson // [Research Report] Kobe University. 2017.
4. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress // Earth-Science Reviews. 2004. 66 (3–4). P. 261–330.
5. Nikolaeva S.B., Lavrova N.B., Denisov D.B. A catastrophic Holocene event in the lake bottom sediments of the Kola region (northeastern Fennoscandian shield) // Doklady Earth Sciences 2017. T. 473. № 1. P. 308–312.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Родионов А.И.¹, Рязанцев П.А.¹, Киброев И.С.²

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН, fabian4695@gmail.com

² Петрозаводский государственный университет

Введение. Методы малоглубинной геофизики находят все большее применение при решении инженерных и инженерно-геологических задач. Одним из методов изучения приповерхностной части разреза является георадиолокация. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в сфере инженерной геофизики при выполнении неразрушающего контроля различных сооружений, а так же обнаружения скрытых коммуникаций. К таким коммуникациям могут относиться различные линейно вытянутые объекты, к примеру, трубы, кабель каналы и армированные крепежи бетонных конструкций. Их выделение основывается на возникновении явления дифракции электромагнитной волны над локальными объектами. В случаях протекания дифракции на радарограммах фиксируются оси синфазности в форме гиперболы, размах крыльев которых может зависеть от множества факторов. Анализ геометрии гипербол позволяет осуществлять расчет скорости прохождения электромагнитной волны и относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) вмещающей локальный объект среды. Правильное определение параметра ϵ является очень важным, потому что именно от него зависит, насколько точно временной разрез будет присчитан в глубинный. Именно этот факт обуславливает интерес исследователей к дифракции.

Методы и подходы. Одним из способов упрощения процесса интерпретации георадиолокационных данных является определение волновых картин характерных для определенных геологических обстановок, так называемых поисковых образов. Подобные образы могут быть получены при помощи построения математических моделей или при выполнении натурных экспериментов. Физическое моделирование имеет преимущество в сравнении с математическим, так как выполняется в относительно идеальных и контролируемых условиях, но с применением реальных физических объектов и систем наблюдения.

Исполнение и форма измерительных ячеек для физического моделирования весьма разнообразна и напрямую зависит от преследуемых исследователями целей и задач. Наиболее распространенным является применения бака или емкости, заполненной однородной средой. При моделировании в бак вносятся неоднородности необходимой конфигурации, обладающие известными физическими свойствами и геометрией, после чего изучается степень и характер их влияния на волновое поле георадиолокации. Сбор данных проводится при помощи высокочастотных георадарных антенн (1–2 ГГц), что обеспечивает получение волновой картины сходной с результатами полевых наблюдений.

Эффективность такого подхода наглядно демонстрируется в ряде научных работ, где изучались: миграция загрязнения среды нефтепродуктами (Glaser et al., 2012); фазовые изменения сигнала для трещин скального массива разного размера и заполнения (Markovaara-Koivisto et al., 2014); поглощающие свойства среды (Владов, Пятилова, 2015); влияние поляризации сигнала при поисках локальных объектов (Sagnard, Tebchrany, 2015); мощность жил льда (Титов, Петлеванный, 2014). Одним из направлений также является изучение явления дифракции, описанное в статье (Liu et al., 2013). В ней приводится описание эксперимента, в ходе которого произведено натурное и математическое моделирование массива состоящего из валунов с линейными размерами от 150 до 330 мм и песка. Измерения выполнялись антенным блоком с центральной частотой в 900 МГц. По результатам исследования было продемонстрировано несовпадение, выраженное наличием интенсивной дифрагированной волны на математической модели и ее отсутствием при физическом моделировании. Авторы отмечают, что данный факт может указывать на наличие параметров среды, которые не были учтены при проведении опытов.

В данной работе приводятся результаты лабораторного эксперимента выполненного с применением георадара оснащенного высокочастотной антенной. Целью эксперимента было установить, каким образом пространственное положение локального объекта влияет на протекание дифракции.

Методика и аппаратура. Лабораторный эксперимент, показанный в статье, выполнялся в измерительной ячейке, представляющей собой пластиковый бак габаритами 800x500x400 мм. Он был наполнен песком, мощность которого составила 300 мм. Песок средне-мелкозернистой фракции (ГОСТ 8736-9), со следующим минеральным составом: кварц – 72%, плагиоклаз – 24%, глинистое вещество – 2%, тонкозернистые агрегаты – 2%. Модуль крупности песка – 1,67, коэффициент фильтрации – 6,5 м/сут. В центральной части бака на глубине 150 мм был закопан стальной брусок 20x30x400 мм. В начале эксперимента локальный объект был заложен перпендикулярно георадарным профилям исследования. В ходе эксперимента объект поворачивался с шагом 10° в горизонтальной плоскости, после чего осуществлялась георадарная съемка модели.

Съемка выполнялась георадаром ОКО 2, оснащенным антенным блоком АБ 1700 с центральной частотой передающей антенны 1700 МГц и с заявленной разрешающей способностью ± 30 мм. Расстояние учитывалось встроенным в антенный блок датчиком перемещения ДП-АБ1700, с диаметром колеса 50 мм, шаг зондирования составлял 5 мм. Разверстка по глубине составляла 32 нс, величина накопления сигнала 8. Съемка проводилась по сети профилей, расположенных вдоль всей длины бака, расстояние между профилями составляло 70 мм. Данные регистрировались и обрабатывались в программном обеспечении GeoScan 32.

Результаты исследования. Результаты эксперимента показали, что изменение пространственного положения линейного объекта находит отражение на радарограммах. На рис. 1 демонстрируются некоторые радарограммы полученные при изучении модели. Рис. 1А соответствует условиям, при которых вытянутая плоскость металлического бруска перпендикулярна ходу георадарной антенны (угол поворота 0°). Параметр ϵ использованного песка соответствует значению 3 ед, значение ϵ , рассчитанное в результате анализа гиперболы дифрагированной волны составило 3,27 ед. На рис. 2Б локальный объект был повернут на 30° по горизонтальной оси. При изменении конфигурации заложения бруска изменилась геометрия крыльев гиперболы, маркирующей локальный объект на радарограмме. Крылья стали положе, ϵ , вычисленное программно, составило 2 ед. Рис. 3В, соответствует волновому полю, при котором локальный объект был повернут на 90° относительно своего первоначального положения. При такой конфигурации заложения бруска сформировалась граница – линейная ось синфазности маркирующая его пространственное расположение. Явление дифракции фиксируется не явно, гиперболы слабо выражены и локализованы в начальной и конечной точке залегания локального объекта. При таком положении бруска установить значение ϵ по гиперболе не представилось возможным.

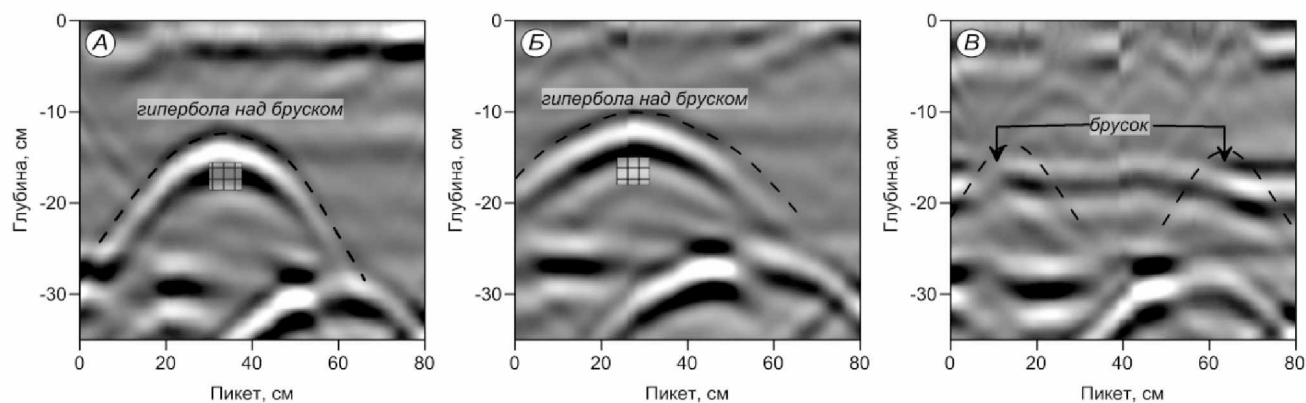


Рис. 1. Изменение волнового поля при повороте локального объекта:
А – на 0° ; Б – на 30° ; В – на 90°

Фиксируемое в ходе эксперимента изменение дифракции было проиллюстрировано на рис. 2. С изменением угла поворота наблюдается формирование оси синфазности – границы маркирующей линейное положение бруска. В случае поворота объекта на 90° в его краевых точках возникают две слабо проявленных гипербола (рис. 1В). При этом параметр ε , вычисляемый по гиперболам в ходе эксперимента, претерпевает значительные изменения связываемые с положением объекта относительно хода георадарной антенны.

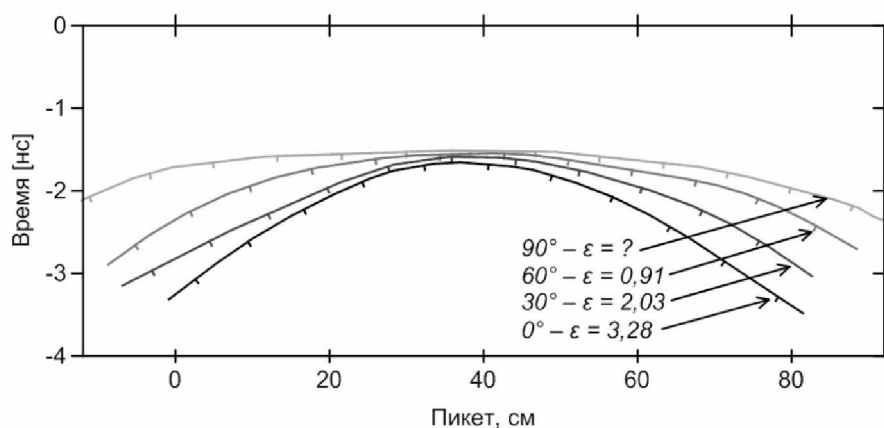


Рис. 2. Изменения характера дифракции фиксируемое при повороте локального объекта на:
1 – 0° ; 2 – 30° ; 3 – 60° ; 4 – 90°

Выводы. В результате выполнения лабораторного эксперимента была выявлена прямая связь между получаемым волновым полем и пространственным расположением локального объекта. Установлено, что изменение угла между ходом георадарной антенны и вытянутой гранью локального объекта приводит к изменению геометрических характеристик усов дифрагированных волн, наблюдаемых на радарограммах. Этот факт приводит к изменению ε вычисляемого программно. Полученные сведения могут найти применение в инженерной и поисковой геофизике, на работах связанных с выделением линейно вытянутых неоднородностей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-35-00020 «Изучение параметров георадарного сигнала при физическом моделировании разных геологических условий».

Список литературы

1. Владов М.Л., Пятилова А.М. Оценка поглощающих свойств среды при георадиолокационных исследованиях в лабораторных условиях // Геофизика. 2015. № 6. С. 55–60.
2. Титов А.В., Петлеваний Д.И., Крылов С.С. Физическое моделирование распространения георадарных сигналов при решении геоэкологических задач // Инженерные изыскания. 2014. № 12. С. 10–16.

3. Glaser D.R., Werkema D.D., Versteeg R.J., Henderson R.D., Rucker D.F. Temporal GPR imaging of an ethanol release within a laboratory-scaled sand tank // *Journal of Applied Geophysics*. 2012. V. 86. 133–145.
4. Liu L., Li Z., Arcone S., Fu L., Huang Q. Radar wave scattering loss in a densely packed discrete random medium: numerical modeling of a box-of-boulders experiment in the Mie regime // *Journal of Applied Geophysics*, 2013. V. 99. P. 68–75.
5. Markovaara-Koivisto M., Hokkanen T., Huuskonen-Snicker E. The effect of fracture aperture and filling material on GPR signal // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2014. V. 73. P. 815–823.
6. Sagnard F., Tebchrany E. Using polarization diversity in the detection of small discontinuities by an ultra-wide band ground-penetrating radar // *Measurement*. 2015. V. 61. P. 129–141.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ КАРТЫ ГЛУБИН ОЗ. ЛОШАМЬЁ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ

Себровский К.Э., Лебедев С.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, sebrovskiy.k@gmail.com

Введение. При опробовании озерных донных отложений схема и густота точек отбора проб должна учитывать глубину и характер рельефа дна. Это позволит улучшить представительность эколого-геологического мониторинга. Возник вопрос: как этого можно добиться, не прибегая к специальным промерам глубин, а используя данные других измерений.

В феврале 2017 года сотрудниками и студентами кафедры экологической геологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета совместно с администрацией Национального парка «Смоленское поозерье» на территории озера Лошамьё проводился комплекс эколого-геологических исследований, среди которых была георадиолокационная съемка. Для проведения георадиолокации использовался георадар «ОКО-2» с антенной АБ-150 (центральная частота 150 МГц).

Результаты съемки. Измерения проводились в период ледостава по набору профилей. Координаты начала и конца каждого профиля фиксировались GPS-навигатором. Так как озеро Лошамьё имеет вытянутую вдоль направления северо-запад – юго-восток форму, георадиолокационные профили были проложены поперек этого направления. В создании карты использовалось 11 профилей (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения георадиолокационных профилей на оз. Лошамьё